

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



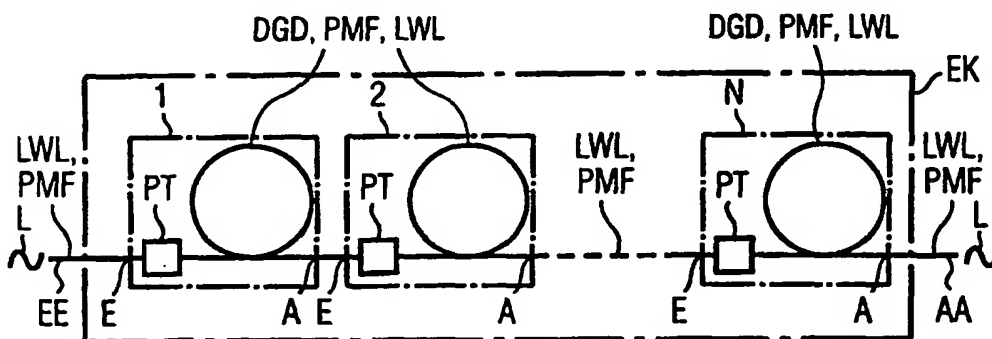
(51) Internationale Patentklassifikation 6 : G02F 1/00	A2	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/53363 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 21. Oktober 1999 (21.10.99)
---	----	---

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/01046  
(22) Internationales Anmeldedatum: 7. April 1999 (07.04.99)  
(30) Prioritätsdaten:  
198 16 178.6 14. April 1998 (14.04.98) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).  
(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NOE, Reinhold [AT/DE];  
Helmener Weg 2, D-33100 Paderborn (DE).  
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, JP, RU, US, europäisches Patent  
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LU, MC, NL, PT, SE).  
  
Veröffentlicht  
Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: EMULATOR AND COMPENSATOR FOR POLARIZATION MODE DISPERSION

(54) Bezeichnung: EMULATOR UND KOMPENSATOR FÜR POLARISATIONSMODENDISPERSION



(57) Abstract

The invention relates to an emulator or compensator (EK) for the polarization mode dispersion of a light wave (L), comprising an input (EE), a continuous optical wave guide (LWL) which is a polarization-maintaining optical wave guide (PMF) having a differential group delay time (DGD), a polarization transformer (PT) and an output (AA). The polarization transformer (PT) is also embodied in a polarization-maintaining optical wave guide (PMF) and allows for infinite polarization transformations. The emulator or compensator (EK) can consist of several individual emulators or compensators (1, 2, ... N) which each have an input (E) and an output (A).

### (57) Zusammenfassung

Ein Emulator oder Kompensator (EK) von Polarisationsmodendispersion einer Lichtwelle (L) besitzt einen Eingang (EE), einen durchgehenden Lichtwellenleiter (LWL), der ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter (PMF) mit einer differentiellen Gruppenlaufzeit (DGD) ist, einen Polarisationstransformator (PT) und einen Ausgang (AA). Der Polarisationstransformator (PT) ist ebenfalls in polarisationserhaltendem Lichtwellenleiter (PMF) ausgeführt und erlaubt endlose Polarisationstransformationen. Der Emulator oder Kompensator (EK) kann aus mehreren Einzelemulatoren oder -kompensatoren (1, 2, ... N) bestehen, welche jeweils einen Eingang (E) und einen Ausgang (A) besitzen.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LJ	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

## Emulator und Kompensator für Polarisationsmodendispersion

5 Die Erfindung betrifft einen Emulator und Kompensator für Polarisationsmodendispersion, mit dem die Polarisation einer elektromagnetischen, vorzugsweise optischen Welle frequenzabhängig verändert werden kann.

Die Erfindung ist deshalb gleichzeitig ein frequenzabhängiger  
10 Polarisationstransformator.

In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken eingesetzt. Die Lichtwellenleiter selbst sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der großen Übertragungslänge  
15 ergibt sich eine frequenzabhängige Polarisationstransformation der Übertragungsstrecke. Dies nennt man Polarisationsmodendispersion oder Polarisationsdispersion, abgekürzt PMD. Sie führt insbesondere zur Verbreiterung gesendeter Impulse, was die verwendbare Übertragungsdatenrate limitiert. Erschwert wird die  
20 Situation dadurch, daß sich durch Temperatur oder mechanische Beanspruchung das Übertragungsverhalten und somit auch die PMD der Strecke ändert. Deshalb werden adaptive PMD-Kompensatoren benötigt, die in den Übertragungspfad eingefügt werden. Zu deren Entwicklung oder einfach zum Prüfen der PMD-Toleranz nicht  
25 PMD-kompensierter Übertragungssysteme werden vielfach einstellbare, aber einfache, kostengünstige und dämpfungsarme PMD-Emulatoren gebraucht, welche das frequenzabhängige Polarisationsübertragungsverhalten von LWL-Strecken von bis zu mehreren 1000 km Länge zu unterschiedlichen Zeitpunkten und bei unterschiedlichen Temperaturen in statistisch signifikanter Weise  
30 nachbilden können.

Der PMD-Kompensator soll bei mindestens einer optischen Frequenz das Polarisationsübertragungsverhalten des Gesamtsystems von Übertragungsstrecke und Kompensator (oder umgekehrt, je  
35 nach Anordnung) in Näherung erster und ggf. auch höherer Ordnung näherungsweise frequenzunabhängig machen. Im Wellenlängenmultiplexbetrieb ist es anzustreben, diese Frequenzunabhängig-

keit bei den Betriebswellenlängen zu erreichen. Die Erfindung läßt sich sowohl als PMD-Emulator, wie auch als PMD-Kompensator einsetzen.

5 Anforderungen an ein solche Baugruppe sind niedrige Einfügedämpfung, Kompatibilität zu Lichtwellenleitern und in vielfacher Hinsicht frequenzabhängig veränderbares Polarisationsübertragungsverhalten.

10 Zur Emulation oder Kompensation von PMD eignet sich klarerweise eine Baugruppe, welche dieselben bzw. die inversen Übertragungseigenschaften besitzt wie eine Übertragungsstrecke. In der Literatur wird PMD oft mathematisch durch viele Retarder oder Polarisationsrotatoren beschrieben, die zwischen stärker doppelbrechenden, also zwischen den beiden Hauptpolarisationen merkliche Verzögerungszeiten aufweisenden LWL-Stücken angeordnet sind. Diese stark doppelbrechenden LWL-Stücke erhalten oder  
15 bewahren zwei zueinander orthogonale Hauptpolarisationen (principal states-of-polarization), kurz PSP, und sind daher polarisationserhaltende Lichtwellenleiter (polarization-maintaining fiber), kurz PMF. Diese PMF sind stark polarisationsdispersiv. Ein entsprechendes Beispiel ist im Tagungsband zur Optical Fiber Communications Conference 1995 (OFC '95) der Optical Society of America als Beitrag WQ2 auf S. 190-192 beschrieben.

20 In Electron. Lett., 17. Feb. 1994, Band 30, No. 4, S. 348-349 ist PMD-Kompensation beschrieben. Auch hier werden mehrere Stücke PMF verwendet, welche durch Polarisationstransformatoren verbunden sind. Diese Literaturstelle ist von Bedeutung, weil dort der Anschluß eines PMD-Kompensators an einen optischen Empfänger sowie die Gewinnung eines Regelkriteriums beschrieben  
30 werden, und dient deshalb dieser Erfindung als Oberbegriff.

Man erkennt, dass sich solche Anordnungen sowohl als PMD-Emulatoren, wie auch als PMD-Kompensatoren einsetzen lassen. In der Praxis beschränken sich die genannten Literaturstellen auf sehr wenige Stücke PMF, und die auftretende Lichtdämpfung  
35 dürfte wegen notwendiger Spleißverbindungen recht hoch sein. Funktionell ähnliche oder äquivalente Anordnungen, welche es erlauben, sehr viele solche Polarisationstransformatoren und

PMF-Stücke so zu kaskadieren, daß sie eine sehr geringe Dämpfung aufweisen, sind aber nicht bekannt.

5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen PMD-Emulator und PMD-Kompensator anzugeben, der gegenüber dem Stand der Technik eine sehr geringe Einfügedämpfung besitzt und auch leicht herstellbar ist.

10 Diese Aufgabe wird durch die Emulatoren und Kompensatoren von Polarisationsmodendispersion mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

15 Erfindungsgemäß eignet sich ein längeres Stück polarisationserhaltender Lichtleitfaser (PMF) zur Herstellung eines PMD-Emulators oder PMD-Kompensators. Die Hauptpolarisationen sind dabei, wie bei handelsüblicher polarisationserhaltender Lichtleitfaser, in einem ersten Ausführungsbeispiel bevorzugt näherungsweise linear. Verteilt über der Länge befinden sich Torsionssektionen, in denen die PMF tordiert wird, so daß sich Polarisationstransformationen ergeben.

20 Die Torsion von PMF ist bereits aus Applied Optics, Band 18, No. 13, S. 2241-2251 als ein Mittel bekannt, durch das sich Polarisationstransformationen in linear doppelbrechendem LWL durchführen lassen, siehe dort Fig. 9. Allerdings ist die Doppelbrechung von handelsüblicher PMF so stark, daß eine Torsion um die dort angegebenen  $68^\circ$  die PMF zumindest langfristig zerstören würde.

30 Bei Verwendung handelsüblicher PMF werden deshalb erfindungsgemäß mehrere Torsionssektionen mit abwechselnder Torsionsrichtung zur Erzeugung der gewünschten Transformation kaskadiert. Alternativ dazu ist eine schwächer als handelsübliche PMF, jedoch viel stärker als normaler LWL doppelbrechende, spezielle PMF vorzusehen.

35 Die Torsion kann in all diesen Fällen variabel ausgebildet werden, beispielsweise durch Verwendung von Schrittmotoren.

Der wegen der begrenzten mechanischen Festigkeit von Lichtwellenleitern naturgemäß begrenzter Torsionsbereich kann zu einer Behinderung der Kompensationsfähigkeit führen, insbesondere bei Betrieb als PMD-Kompensator. Durch herstellungsbedingt nichtideal festgelegte Längen der Torsionsstücke und ähnliche Einflüsse können außerdem Funktionsungenauigkeiten entstehen. Diese eventuellen Nachteile lassen sich durch Einfügen zusätzlicher Torsionssektionen beheben. Dabei kann es günstig sein, mehrere unabhängig voneinander tordierbare Torsionssektionen oder Gruppen von Torsionssektionen nahe beieinander anzuordnen. Wünschenswert sind sogenannte endlose Polarisationsregelungen. Grund dafür ist, daß insbesondere bei Betrieb als PMD-Kompensator ein unterbrechungsfreies Kompensieren erforderlich ist; jede, auch kurze Unterbrechung könnte wegen der üblichen extrem hohen Übertragungsbitraten zu unerwünschten Bitfehlern im Empfänger führen. Einen guten Überblick über endlose Polarisationsregelungen geben das IEEE Journal of Lightwave Technology in Band 9, Oktober 1991, No. 10, S. 1353-1366 und insbesondere die dort zitierten Literaturstellen. Endlose Polarisationsregelungen, welche auf tordierter polarisationserhaltender Lichtleitfaser beruhen, sind allerdings noch nicht bekannt.

Statt linear doppelbrechender PMF kann auch zirkular oder elliptisch doppelbrechende PMF eingesetzt werden; dabei sind jedoch die Polarisationstransformatoren zu modifizieren.

Es folgt eine genauere Beschreibung erfindungsgemäßer PMD-Emulatoren und PMD-Kompensatoren anhand der Figuren 1 bis 5.

Figur 1 zeigt einen erfindungsgemäßen PMD-Emulator oder -Kompensator im Schema.

Figur 2 zeigt einen phasenangepaßten Modenwandler als Polarisationstransformator.

Figur 3 zeigt einen endlosen Polarisationstransformator mit tordierten Stücken linear doppelbrechenden Lichtwellenleiters.

Figur 4 zeigt einen beweglichen Ankerpunkt linear doppelbrechenden Lichtwellenleiters in der durchbohrten Achse eines Schrittmotors.

Figur 5 zeigt zwei Einzelemulatoren oder -kompensatoren, welche zirkular doppelbrechenden Lichtwellenleiter und bewegliche Lichtwellenleiterschlaufen enthalten.

- 5 Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 durchläuft eine Lichtwelle L einen PMD-Emulator oder -Kompensator EK innerhalb eines Lichtwellenleiters LWL von einem Eingang EE zu einem Ausgang AA. Der Lichtwellenleiter LWL besteht aus polarisationserhaltendem Lichtwellenleiter PMF, welcher nicht unterbrochen wird und auch  
10 bei der Herstellung nicht zerschnitten oder, außer an Eingang EE und Ausgang AA, gespleißt werden muß. Aus diesem Grund besitzt der PMD-Emulator oder -Kompensator EK eine sehr geringe Einfügedämpfung für die Lichtwelle L. Der PMD-Emulator oder  
15 -Kompensator EK enthält eine Kette von Einfachemulatoren oder -kompensatoren 1, 2, ... N. Jeder dieser Einfachemulatoren oder -kompensatoren 1, 2, ... N besitzt seinerseits einen Eingang E und einen Ausgang A, wobei der Ausgang A eines Einfachemulators oder -kompensators jeweils mit dem Eingang E des darauffolgenden verbunden ist. In jedem dieser Einfachemulatoren oder  
20 -kompensatoren 1, 2, ... N folgt auf den Eingang E ein Polarisationsstransformator PT, ein polarisationsdispersiver Lichtwellenleiter PMF mit einer differentiellen Gruppenlaufzeit DGD und der Ausgang A.  
Eingang EE und Ausgang AA der Anordnung können auch vertauscht  
25 werden, so daß die Lichtwelle L die Anordnung nicht vom Eingang EE zum Ausgang AA durchläuft, sondern in umgekehrter Richtung. Auch die Reihenfolge von Polarisationsstransformator PT und differentieller Gruppenlaufzeit DGD aufweisendem Lichtwellenleiter kann gegenüber der beschriebenen Reihenfolge in einem, mehreren  
30 oder allen Einzelemulatoren oder -kompensatoren 1, 2, ... N vertauscht werden.  
Der polarisationsdispersive Lichtwellenleiter mit der Gruppenlaufzeit DGD ist ein mit geeigneter Länge gewähltes Stück des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF. Handelsübliche  
35 PMF besitzt Schwebungswellenlängen, innerhalb derer eine Phasenverzögerung von  $360^\circ$  oder eine Periodendauer Zeitverzögerung der Lichtwelle zwischen den beiden Hauptpolarisationen ent-

steht, in der Größenordnung von 2 bis 4 mm bei einer Wellenlänge von 1550 nm der Lichtwelle L. Dies entspricht einer differentiellen Verzögerungszeit DGD des polarisationsdispersiven Lichtwellenleiters von 2,6 bis 1,3 ps pro Meter Länge. Differentielle Verzögerungszeit eines homogenen doppelbrechenden Lichtwellenleiters fester Länge und Schwebungswellenlänge der Doppelbrechung skalieren invers zueinander.

5 Auch im Polarisationstransformator PT wird das Licht im polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF geführt, was, wie unten beschrieben, durch erfindungsgemäße Ausgestaltung des Polarisationstransformators PT möglich ist.

Die Gesamtzahl von Einfachemulatoren oder -kompensatoren kann in weiten Grenzen variieren, zwischen 1 und großen, gerade noch wirtschaftlich vertretbaren Zahlen wie 100 oder 200. Günstig ist es, die Gesamtzahl zwar gering, aber dennoch mindestens so groß zu wählen, daß sich ähnliche statistische Eigenschaften der Polarisationsdispersion wie beim zu emulierenden oder kompensierenden Lichtwellenleiter ergeben. Dafür sind, je nach Erfordernissen, etwa 6 bis 50 Einfachemulatoren oder -kompensatoren erforderlich.

20 Erfindungsgemäß sind viele Einfachemulatoren oder -kompensatoren insbesondere dann zweckmäßig einzusetzen, wenn PMD-Emulation bzw. -kompensation für sehr breitbandige Signale, d.h. z.B. für Datensignale mit hoher Übertragungsbitrate, oder für mehrere oder viele Signale im optischen Wellenlängenmultiplexbetrieb angestrebt wird.

Wenn die Erfindung lediglich als PMD-Emulator eingesetzt wird, ist es zur Minimierung des Aufwands zweckmäßig, als Polarisationstransformator PT lediglich einen Modenkonverter zu verwenden. Weitere Polarisations Transformationen entstehen nämlich ohnehin durch Temperaturdrift des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF. Im Emulator sind diese, anders als in einem guten Kompensator, tolerierbar. Ein Modenkonverter für linear doppelbrechenden polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF kann erfindungsgemäß als phasenangepaßter Modenkon-



verter wie in Figur 2 dargestellt ausgeführt werden. Er enthält polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF, an dem zwei ineinandergreifende Torsionsanker FK, BK, die hier die Form von Kämmen besitzen, befestigt sind, beispielsweise mittels

5 Epoxikleber. Diese können gegeneinander um den polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF als Achse verdreht werden, wobei außenliegende Kammteile sich in der Drehrichtung DR drehen können. Es können beide Torsionsanker beweglich ausgeführt werden, oder einer davon ist ein fester Torsionsanker FK, der andere ein beweglicher Torsionsanker BK. Als Antrieb von Torsionsankern BK eignen sich beispielsweise Schrittmotoren SM, die zur Erzielung hoher Auflösung im wegkontinuierlichen Mikroschrittbetrieb betrieben werden können. Durch Verdrehung der

10 Torsionsanker oder Kämmen FK, BK gegeneinander kommt es auch zur Torsion der kurzen Lichtwellenleiterstücke TS zwischen den Kammzinken ZI. Die Torsion in den Torsionsstücken TS ist eine mechanische Beanspruchung MB. Zur Erhöhung der Übersicht sind in Figur 2 nur wenige der insgesamt vorhandenen Lichtwellenleiterstücke TS, Kammzinken ZI und mechanischen Beanspruchungen MB

15 mit Bezeichnern versehen.

Wenn beispielsweise der feste Torsionsanker oder Kamm FK nur zwei, der bewegliche Torsionsanker oder Kamm BK nur eine Zinke besitzt, so daß er zu einem Drehhebel entartet, so ergibt sich ein aus Applied Optics, Band 18, No. 13, S. 2241-2251 (siehe

25 dort Fig. 9) bereits bekannter Modenwandler. Die Verwendung von mehr Kammzinken ZI hat allerdings den Vorteil, daß geringere Drehwinkel der zwei Kämmen BK, FK gegeneinander erforderlich sind. Insbesondere ist die Doppelbrechung von handelsüblicher PMF so stark, daß eine Torsion um die in der Literaturstelle

30 angegebenen  $68^\circ$  die PMF zumindest langfristig zerstören würde. Die Länge, innerhalb derer die  $68^\circ$  Torsion erfolgen müssen, beträgt im Fall von 2 mm Schwebungswellenlänge nämlich nur 0,7 mm. Je mehr Torsionssektionen vorhanden sind, desto geringer dürfen die Torsionswinkel sein und desto mehr nähern sich die

35 Längend der Torsionsstücke TS einer halben Schwebungswellenlänge der Lichtwelle L im polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF an.

Wenn die Erfindung als besonders vielfältig variierbarer PMD-Emulator oder als PMD-Kompensator eingesetzt werden soll, ist es, wie schon erwähnt, zweckmäßig, viele Einfachemulatoren bzw. -kompensatoren einzusetzen, oder man setzt variablere Polarisations-  
5 -transformatoren PT ein. Der letztere Fall ist beispielhaft in Figur 3 illustriert. Der feste Torsionsanker FK besitzt hier nur zwei Zinken. Dagegen sind mehrere bewegliche Torsionsanker BK1, BK2, BK3 vorgesehen.

10 Als Anzahl der beweglichen Torsionsanker eignet sich insbesondere die Zahl drei, weil dadurch erfindungsgemäß eine endlose Polarisations-  
transformation möglich ist. Alternativ dazu kommen zwei, um eine technisch einfachere Ausführungsform zu erhalten, oder vier und mehr bewegliche Torsionsanker in Frage, um die  
15 Realisierung und Ansteuerung der Polarisations-  
transformatoren zu erleichtern. Besonders dann, wenn die Schwebungswellenlänge des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF nicht exakt bestimmt werden kann oder ortsabhängig schwankt, ist es zweck-  
mäßig, mehr als drei bewegliche Torsionsanker einzusetzen. Auch  
20 die festen Torsionsanker FK können einer oder beide durch bewegliche Torsionsanker BK0, BK4 ersetzt werden. Dies bietet erfindungsgemäß zusätzliche Variabilität der Polarisations-  
transformation, so daß auch Abweichungen der Längen der Torsions-  
sektionen TS1, TS2, TS3, TS4 vom gewünschten Wert, Inhomogenitäten  
25 der Doppelbrechung des Lichtwellenleiters PMF und ähnliche Ungenauigkeiten die Fähigkeit zur endlosen Polarisationsregelung nicht beeinträchtigen können.

Zunächst seien die Ankerpunkte vernachlässigbar kurz, so daß der Polarisations-  
transformator PT quasi nur aus tordierbaren  
30 Lichtwellenleitern besteht. Die Längen der 4 Torsionssektionen TS1, TS2, TS3, TS4 des Lichtwellenleiters PMF werden in diesem Fall etwa so groß gewählt, daß die im torsionsfreien Betrieb auftretende Phasenverzögerung zwischen dem schnellen und dem langsamen Schwingungsmodus des Lichtwellenleiters PMF etwa  
35 gleich  $1,7 \text{ rad}$  ist. Dies entspricht einem  $1,7 / (2 * \pi) = 0,27$ fachen einer Schwebungswellenlänge. Um Inhomogenitäten der Doppelbrechung des Lichtwellenleiters PMF und ähnliche Ungenau-

igkeiten die Fähigkeit zur endlosen Polarisationsregelung nicht beeinträchtigen zu lassen, können diese Längen auch variiert werden; beispielsweise können die Torsionssektionen TS1, TS4 jeweils so lang gewählt werden, daß sie Phasenverzögerungen von etwa 1,6 rad aufweisen, und Torsionssektionen TS2, TS3 können jeweils so lang gewählt werden, daß sie Phasenverzögerungen von etwa 1,8 rad aufweisen.

Um erfindungsgemäß endlose Polarisationsstransformationen zu ermöglichen, sollen unter idealisierten Voraussetzungen Torsionsanker BK2 um mindestens etwa  $\pm 73^\circ$ , und Torsionsanker BK1, BK3 jeweils um mindestens etwa  $\pm 35^\circ$  gegenüber der torsionsfreien Lage drehbar sein. Da sich bei der Torsion des Lichtwellenleiters PMF nicht nur die Hauptachsen geometrisch drehen, sondern sich auch die Polarisationsellipse der optischen Welle in geringem Maße, um etwa 5 bis 10% der geometrischen Drehung, mitdreht, ist der Torsionsbereich der Torsionsanker in der Praxis mit einem Faktor F von etwa 1,05 bis 1,1 zu multiplizieren, so daß man auf etwa  $\pm 79^\circ$  für Torsionsanker BK2, und auf etwa  $\pm 38^\circ$  für Torsionsanker BK1, BK3 kommt. Diese Werte können je nach Lichtwellenleitertyp um etwa  $\pm 10\%$  schwanken.

Weitere Variationen sowohl der Längen der Torsionssektionen TS1, TS2, TS3, TS4, als auch der Drehbarkeit der Torsionsanker BK1, BK2, BK3, können dadurch erforderlich werden, daß die Befestigungen an den Ankerpunkten FK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4 nicht punktförmig erfolgen, sondern über eine gewisse Länge, so daß aufeinanderfolgende Torsionssektionen durch ein kleines Stück nichttordierbaren, aber doppelbrechenden weil polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters getrennt sind.

Endlose Polarisationsstransformation ist stets dann möglich, wenn bestimmte gemeinsame periodische Drehwinkeländerungen der beweglichen Torsionsanker BK1, BK2, BK3 so angegeben werden können, daß eine Hauptpolarisation des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF in jeder Phase dieser Drehwinkeländerungen wenigstens näherungsweise in die andere, zur ersten orthogonale Hauptpolarisation transformiert wird. Mit geringeren als den so spezifizierten Drehwinkeln lassen sich dann alle anderen

möglichen und erforderlichen Polarisationsumwandlungen erreichen.

Mit Rechnerunterstützung läßt sich dies auch bei Berücksichtigung der endlichen Befestigungsbreiten an den Ankerpunkten

5 leicht berechnen, so daß die erforderlichen Längen der Torsionssektionen sowie die Drehwinkelbereiche für viele Ausführungsbeispiele der Erfindung problemlos angegeben werden können. Je nach Befestigungsbreiten können so deutliche Variationen der oben als erforderlich genannten Längen und Drehwinkelbereiche erreicht werden. Die folgende, keineswegs vollständige  
10 Tabelle führt einige Ausführungsbeispiele an. Die Werte wurden nicht mit der großen Genauigkeit errechnet, welche die Tabelle suggeriert, und in der Praxis verursachen Inhomogenitäten des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters und andere Störeinflüsse ohnehin zu größeren Ungenauigkeiten, welche durch individuelle Drehwinkelsteuerung der Torsionsanker und ggf. mehr  
15 Torsionsanker behoben werden können. Die Auswahl an Längen der Torsionssektionen TS1, TS2, TS3, TS4 und Lichtwellenleiterbefestigungsbreiten der Torsionsanker BK1, BK2, BK3 ermöglicht es, mit polarisationserhaltendem Lichtwellenleiter PMF gegebener  
20 Schwebungswellenlänge und gegebenen mechanischen Konstruktionsvorgaben ein kompaktes und leistungsfähiges Ausführungsbeispiel konstruieren zu können.

In der Tabelle bedeuten die Spalten

- 25 - TS1, TS4 die differentiellen Verzögerungen in Radiant der Torsionssektionen TS1, TS4,  
- TS2, TS3 die differentiellen Verzögerungen in Radiant der Torsionssektionen TS2, TS3,  
- CA, CB, CC zirkulare Doppelbrechungsanteile der Torsionssektionen in Radiant, die, wie anschließend erläutert, in direkter  
30 Beziehung zu erforderlichen Drehwinkeln der Ankerpunkte BK1, BK2, BK3 stehen,  
- VV die differentiellen Verzögerungen in Radiant der an den Torsionsankern BK1, BK2, BK3 befestigten Anteile des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters.  
35

CA, CB, CC spezifizieren die angegebenen periodischen Drehwinkeländerungen der beweglichen Torsionsanker BK1, BK2, BK3, wel-

che eine Hauptpolarisation des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF in jeder Phase dieser Drehwinkeländerungen wenigstens näherungsweise in die andere, zur ersten orthogonale Hauptpolarisation überführen. Die tatsächlichen Drehwinkel in  
5 Radiant ergeben sich wie folgt:

für Torsionsanker BK1:  $F * (CA/2 * \cos(\phi) + CC/2 * \sin(\phi))$

für Torsionsanker BK2:  $F * CB/2 * \cos(\phi)$

für Torsionsanker BK3:  $F * (CA/2 * \cos(\phi) - CC/2 * \sin(\phi))$

10

Dabei ist  $\phi$  ein Winkel, der sich kontinuierlich ändert, und  $F$  der obengenannte Faktor. Bei punktförmiger Befestigung an den Torsionsankern, also  $VV = 0$ , und einem angenommenen Wert  $F = 1,08$  ergeben sich beispielsweise für die Drehwinkel von Torsionsanker BK2 die bereits oben angeführten Extremwerte  $\pm 1,08 * 2,55 \text{ rad} / 2 = \pm 79^\circ$ .  
15

TS1, TS4	TS2, TS3	CA	CB	CC	VV
1,6822	1,7063	0,3838	2,5547	1,2078	0
1,2671	1,5748	0,3495	2,3959	1,1854	0,2618
1,4455	1,1221	0,5732	2,6100	1,0970	0,5236
1,2025	0,8886	0,6022	2,5738	1,0694	0,7854
1,3073	0,4848	0,8161	2,8904	1,0063	1,0472
1,0198	0,2692	0,8146	2,8355	0,9983	1,3090
0,8165	0,0201	0,8617	2,8883	0,9779	1,5708
0,8589	-0,3367	1,0935	3,3401	0,9318	1,8326
2,7641	1,4520	0,7614	2,7293	1,8135	2,0944
2,5026	1,3362	0,7189	2,6072	1,6315	2,3562
1,8341	1,4392	0,8738	2,8254	1,2814	2,6180
0,9181	1,5792	1,1139	3,3008	1,0629	2,8798
1,1501	1,1127	0,8317	2,7393	1,1223	3,1416
1,1970	0,7358	0,6622	2,4338	1,1670	3,4034
0,9436	0,5144	0,6253	2,3754	1,1342	3,6652
1,3571	-0,0743	0,3394	1,9702	1,3624	3,9270
1,3911	-0,4864	0,1727	1,7839	1,5200	4,1888
2,6186	3,1806	-1,0906	2,9154	1,7668	4,7124
2,2898	3,1127	-0,7477	2,8373	1,6412	4,9742

12

1,9981	2,9663	-0,4681	2,7409	1,5389	5,2360
1,4313	2,9682	-0,4526	2,5668	1,4914	5,4978
1,2133	2,7217	-0,2611	2,4324	1,4389	5,7596
1,8867	1,9482	0,3109	2,6135	1,2669	6,0214
1,6822	1,7063	0,3838	2,5547	1,2078	6,2832

- Weitere Ausführungsbeispiele ergeben sich durch längere Torsionssektionen TS1, TS2, TS3, TS4, welche um eine ganze Anzahl von Schwebungswellenlängen der Lichtwelle länger sind als angegeben. Die Torsionswinkel sind dabei dergestalt zu ändern, daß sich eine unveränderte Torsionsrate, d.h. Winkeländerung pro Längeneinheit ergibt. Auf diese Weise lassen sich auch die angegebenen Beispiele mit negativen Längen in realisierbare Ausführungsbeispiele umsetzen. Analoges gilt für die Spalte VV.
- Dies läßt sich durch Vergleich der ersten und der letzten Tabellenzeile leicht ersehen; diese Zeilen unterscheiden sich nämlich lediglich um den Wert  $2\pi$  Radiant in der Spalte VV. Die in der Tabelle angegebenen Winkel CA, CB, CC sind auch lediglich als Anhaltswerte zu verstehen, denn zum Erzielen größerer Variabilität von Polarisations Transformationen kann es zweckmäßig sein, deutlich größere, beispielsweise um einen Faktor 1,5 oder gar 2 vergrößerte Drehwinkel CA, CB, CC vorzusehen.
- Ausführungsbeispiele mit mehr als drei beweglichen Torsionsankern können beispielsweise so ausgebildet sein, daß sich damit wenigstens näherungsweise dieselben Torsionsprofile als Funktion des Ortes im polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter PMF erreichen lassen wie in den angegebenen Beispielen.
- Um die genannte Länge, beispielsweise das 0,27fache einer Schwebungswellenlänge, ohne Zerstörung des polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters um einen Drehwinkelbereich der genannten Größenordnung, beispielsweise  $\pm 79^\circ$  oder auch mehr, um nämlich weitere Regelmöglichkeiten zur Verfügung zu haben, torquieren zu können, muß die Schwebungswellenlänge ausreichend groß gewählt werden. In Frage kommen insbesondere Schwebungs-

wellenlängen von 10 bis 200 nm, bevorzugt solche im Bereich zwischen 30 und 100 nm.

- Bei angenommenen 50 mm Schwebungswellenlänge bei 1550 nm Wellenlänge der Lichtwelle L beträgt die differentielle Verzögerungszeit etwa 0,1 ps pro Meter. Um eine differentielle Gruppenlaufzeit DGD von beispielsweise 25 ps zu erhalten, benötigt man daher etwa 250 Meter polarisationserhaltenden Lichtwellenleiters PMF. Bei beispielsweise 10 Einzelemulatoren oder -kompensatoren mit dieser differentiellen Gruppenlaufzeit DGD werden dann insgesamt etwa 2,5 km Lichtwellenleiter benötigt. Polarisationserhaltende Lichtwellenleiter mit linearer Doppelbrechung der genannten Größenordnung lassen sich nach dem Stand der Technik leicht durch elliptischen Kernquerschnitt oder durch gezielten Einbau mechanischer Spannungen herstellen. Nachteilig, aber in Kauf zu nehmen sind bei größerer Schwebungswellenlänge die größere zum Erzielen einer bestimmten differentiellen Gruppenlaufzeit DGD erforderliche Länge und der geringere Grad der Polarisationserhaltung. Erstere verursacht wegen der sehr geringen Dämpfung von Quarzglas-Lichtwellenleitern keine besonders hohen Dämpfungsverluste, und letzterer kann beim Entwurf und bei der Inbetriebnahme der Polarisationstransformatoren PT durch mehr Ankerpunkte FK, BK oder durch Festlegung von Abweichungen der Drehwinkelbereiche von den oben angegebenen Werten berücksichtigt werden, siehe obige Tabelle.
- Bei elliptischem Kernquerschnitt des Lichtwellenleiters kann die Dämpfung einer Länge von 2,5 km sehr gering sein, bis herunter zu etwa 0,5 dB insgesamt. Außerdem kann der polarisationserhaltende Lichtwellenleiter PMF gleichzeitig zur Kompensation oder Emulation chromatischer Lichtwellenleiterdispersion ausgelegt sein.
- Um eine versehentliche Zerstörung der Torsionssektionen TS, TS1, TS2, TS3, TS4 zu vermeiden und bei Bedarf, z.B. nach einem Stromausfall der Schrittmotorsteuerungen, den Drehwinkel eines Schrittmotors bestimmen zu können, können Drehsperrn (Anschläge) oder Winkelgeber an den Achsen von Schrittmotoren SM vorgesehen sein.

Figur 4 zeigt einen Schrittmotor SM mit einem schematisch gezeichneten Stator ST und einer Achse AX, welche mit einer Bohrung BO durchbohrt ist. Konzentrisch in Achsendurchmesser und Stator wird der Lichtwellenleiter LWL geführt, der in diesem Ausführungsbeispiel ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter PMF ist. Der Lichtwellenleiter LWL, PMF ist an die Achse AX fest angeklebt, so daß die Achse AX gleichzeitig einen beweglichen Torsionsanker BK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4 darstellt. Insbesondere bei Verwendung eines Schrittmotors in scheibenförmiger (flacher) Sonderbauform ist diese Anordnung äußerst kompakt, so daß sich der gesamte Polarisationstransformator PT der Figur 3 ebenfalls kompakt aufbauen läßt. Insbesondere können die Abstände zwischen den beweglichen Ankerpunkten BK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4 so gering sein, daß man doppelbrechenden Lichtwellenleiter PMF mit Schwebungswellenlänge maßvoller Größe einsetzen kann.

Während bisher von linear doppelbrechendem Lichtwellenleiter PMF und Torsion als mechanischer Beanspruchung MB in Polarisationstransformator PT die Rede war, wird in einem anderen Ausführungsbeispiel tordierter Standard-Lichtwellenleiter LWL als zirkular doppelbrechender Lichtwellenleiter PMF eingesetzt. Wie in Electron. Lett., 17(1981)11, auf Seiten 388-389 ausgeführt ist, erhält ein normaler einmodiger Lichtwellenleiter durch Torsion eine zirkulare Doppelbrechung. Vorteilhaft gegenüber den vorgenannten Ausführungsbeispielen ist, daß normaler Lichtwellenleiter leicht verfügbar ist. Figur 5 zeigt beispielhaft zwei Einzelemulatoren oder -kompensatoren 1, 2, welche zirkular doppelbrechenden Lichtwellenleiter und bewegliche Lichtwellenleiterschlaufen oder Faserschlaufen FS1, FS2 enthalten. Der Lichtwellenleiter LWL ist jeweils vor und hinter den Polarisationstransformatoren PT an Haltepunkten H eingespannt. Zwischen zwei benachbarten Haltepunkten H, die einen Polarisationstransformator PT einschließen, wirkt er als normaler, ohne zusätzliche Biegung näherungsweise nicht doppelbrechender Lichtwellenleiter LWL. Zumindest in bestimmten Stellungen der drehbaren Faserschlaufen ist er untordiert, bei frei in den Lichtwellen-



leiterschlaufen FS1, FS2 beweglichem Lichtwellenleiter LWL sogar in jeder Stellung dieser Lichtwellenleiterschlaufen FS1, FS2. Zwischen zwei benachbarten Haltepunkten, zwischen denen kein Polarisationstransformator PT liegt, ist der Lichtwellenleiter dagegen stark tordiert, so daß er als zirkular doppelbrechender und zirkular polarisationserhaltender Lichtwellenleiter PMF mit einer differentiellen Gruppenlaufzeit DGD zwischen den beiden zirkularen Hauptpolarisationen wirkt. Zur Herstellung eignet sich z.B. eine Verseilungsmaschine. Die Polarisationstransformatoren PT enthalten Faserschlaufen FS1, FS2. Diese sind z.B. aus Electronics Letters, Band 21, 1985, Seiten 895-896 und Electronics Letters, Band 22, 1986, Seiten 78-79 in endlos drehbarer Form bekannt, können aber insbesondere dann, wenn die Einrichtung lediglich als Emulator, nicht aber als Kompensator von PMD eingesetzt werden soll, auch begrenzt drehbar sein, was die Konstruktion erleichtert. Mit zwei Viertelwellenschlaufen, also Faserschlaufen, in welchen zwischen den bei Biegung entstehenden linearen und zueinander orthogonalen Hauptpolarisationen Phasenverzögerungen von  $\pi/2$  Radiant auftreten, läßt sich erfindungsgemäß endlose Polarisationstransformation für den hier erforderlichen Anwendungsfall erzielen. Durch mehr als zwei Faserschlaufen in einem Polarisationstransformator PT können herstellungsbedingte Nichtidealitäten des Lichtwellenleiters, z.B. unerwünschte Torsion, ausgeglichen werden. Die Faserschlaufen FS1, FS2 sind drehbar ausgelegt, und außerdem ist der Lichtwellenleiter LWL dort prinzipbedingt gebogen, so daß sich wie im ersten Ausführungsbeispiel eine mechanische Beanspruchung MB des Lichtwellenleiters LWL ergibt.

Der erfindungsgemäße PMD-Kompensator EK kann so wie in Electron. Lett., 17. Feb. 1994, Band 30, No. 4, S. 348-349 beschrieben in einem optischen Empfänger zur PMD-Kompensation eingesetzt werden.

## Patentansprüche

1. Emulator oder Kompensator (EK) von Polarisationsmodendispersion einer Lichtwelle (L) mit einem Eingang (EE), einem Lichtwellenleiter (LWL), von dem zumindest ein Teil ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter (PMF) mit einer differentiellen Gruppenlaufzeit (DGD) ist, einem Polarisationstransformator (PT) und einem Ausgang (AA),  
dadurch gekennzeichnet, daß  
in einem Polarisationstransformator (PT) ein Lichtwellenleiter (LWL, PMF), welcher in einen eine differentielle Gruppenlaufzeit (DGD) aufweisenden polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter (PMF) stoßfrei und spleißlos übergeht, einer mechanischen Beanspruchung (MB) ausgesetzt werden kann.
2. Anordnung nach Anspruch 1,  
in der dieser Lichtwellenleiter (LWL) einen polarisationserhaltenden Lichtwellenleiter (PMF) mit linearer Doppelbrechung aufweist.
3. Anordnung nach Anspruch 2,  
in der in einem Polarisationstransformator (PT) ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter (PMF) an gegeneinander in einer Drehrichtung (DR) beweglichen Ankerpunkten (FK, BK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4) befestigt ist, so daß zwischen diesen Ankerpunkten (FK, BK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4) verlaufende Torsionssektionen (TS, TS1, TS2, TS3, TS4) einer Torsion als mechanischer Beanspruchung (MB) ausgesetzt werden.
4. Anordnung nach Anspruch 3,  
in der mindestens ein Ankerpunkt (FK, BK) mehrere Kammzinken (ZI) aufweist, wobei zu verschiedenen gegeneinander beweglichen Ankerpunkten (FK, BK) gehörende Kammzinken (ZI) periodisch abwechselnd aufeinander folgen, so daß dazwischen verlaufende Torsionssektionen (TS) in periodisch wechselndem Drehsinn toridiert werden können.

5. Anordnung nach Anspruch 3 oder 4,  
in der zwischen zwei Ankerpunkten (FK, BK0, BK4) mehrere Ankerpunkte (BK1, BK2, BK3) vorgesehen sind, die durch aufeinanderfolgende Torsionssektionen (TS1, TS2, TS3, TS4) voneinander getrennt sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
in der die Drehung eines Ankerpunkts (BK, BK0, BK1, BK2, BK3, BK4) in Drehrichtungen (DR) durch einen Schrittmotor (SM) bewirkt werden kann.

7. Anordnung nach Anspruch 1,  
in der dieser Lichtwellenleiter (LWL) zwischen keinen Polarisations-  
transformatoren (PT) einschließenden benachbarten Haltepunkten (H) tordiert ist, so daß er als polarisationserhaltender Lichtwellenleiter (PMF) mit zirkularer Doppelbrechung wirkt, zwischen einen Polarisationstransformator (PT), welcher mindestens eine bewegliche und bei Bewegung eine mechanische Beanspruchung (MB) dieses Lichtwellenleiters (LWL) verursachende Faserschleife (FS1, FS2) aufweist, einschließenden benachbarten Haltepunkten (H) jedoch zumindest in einer bestimmten Stellung dieser Faserschleifen (FS1, FS2) nicht tordiert ist, so daß diese Faserschleifen (FS1, FS2) wie drehbare Wellenplatten wirken.

8. Anordnung nach Anspruch 7,  
in der mindestens eine dieser Faserschleifen (FS1, FS2) wenigstens näherungsweise als drehbare Viertelwellenplatte wirkt.

9. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
in der mehrere Einzelemulatoren oder -kompensatoren (1, 2, N) mit je einem Eingang (E) und einem Ausgang (A) vorgesehen sind, wobei ein Ausgang (A) eines Einzelemulators oder -kompensators (1, 2, N) mit einem Eingang (E) des darauffolgenden verbunden sein kann.

1/2

FIG 1

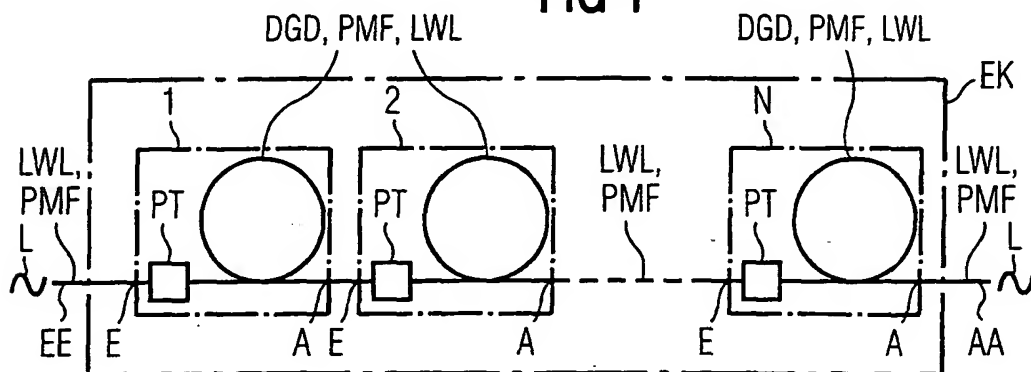


FIG 2

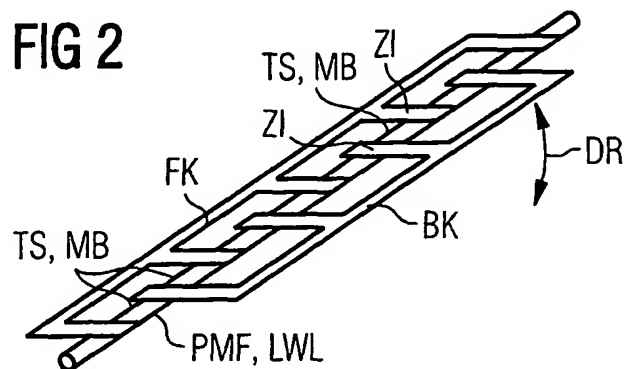
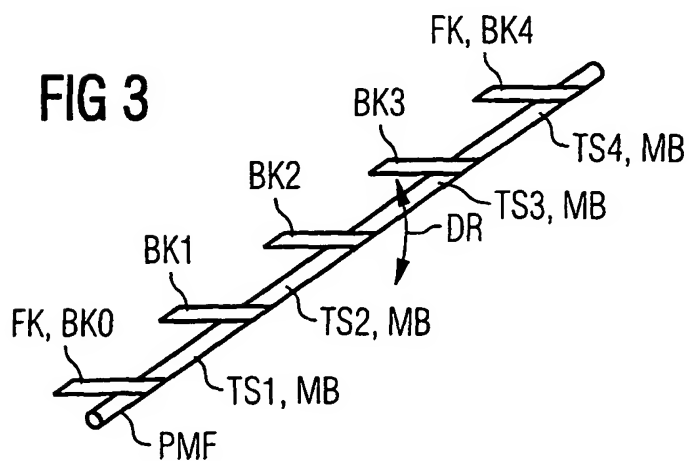


FIG 3



2/2

FIG 4

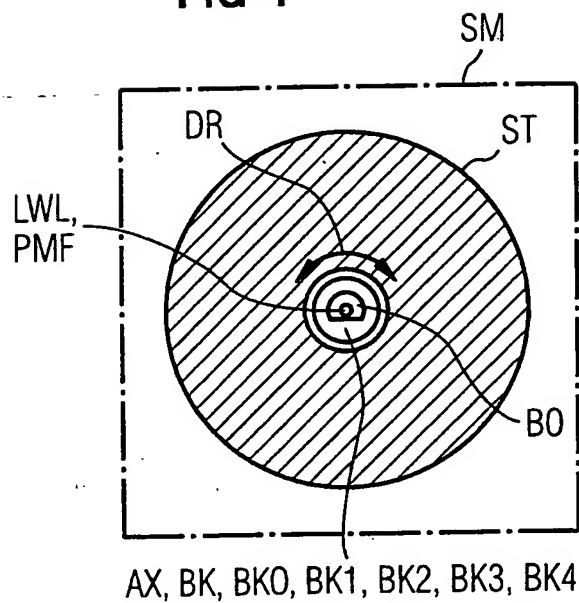
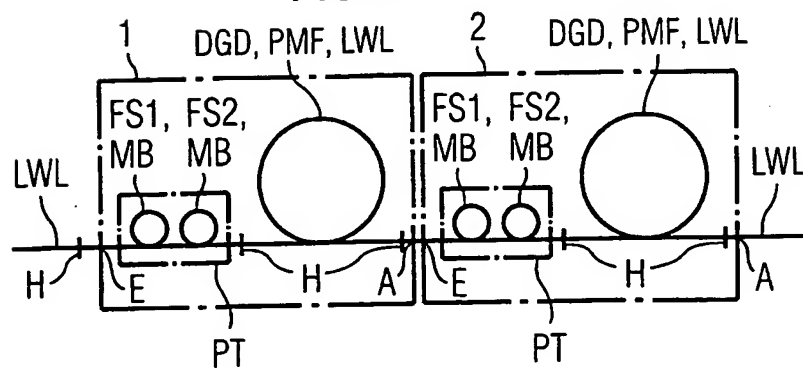


FIG 5



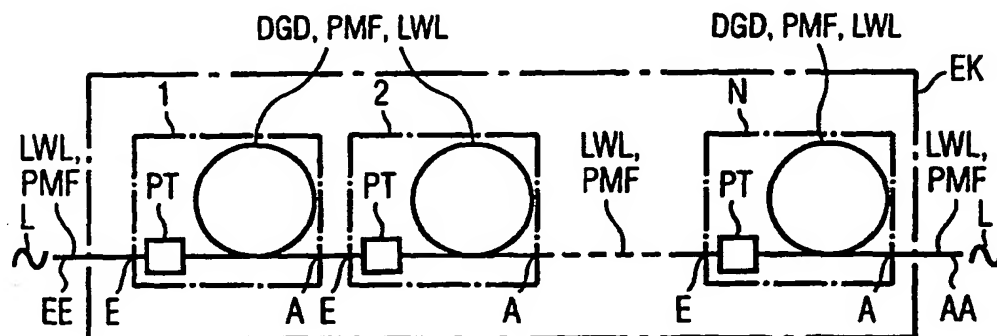
**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>G02B 6/34, H04B 10/148</b>	<b>A3</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 99/53363</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>21. Oktober 1999 (21.10.99)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE99/01046</b> (22) Internationales Anmeldedatum: <b>7. April 1999 (07.04.99)</b>  (30) Prioritätsdaten: 198 16 178.6          14. April 1998 (14.04.98)          DE  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</b>  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>NOE, Reinhold [AT/DE]; Helmeimer Weg 2, D-33100 Paderborn (DE).</b>  (74) Gemeinsamer Vertreter: <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</b>		(81) Bestimmungsstaaten: <b>CN, JP, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b>  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>  (88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts: <b>2. Dezember 1999 (02.12.99)</b>

(54) Title: **EMULATOR AND COMPENSATOR FOR POLARIZATION MODE DISPERSION**

(54) Bezeichnung: **EMULATOR UND KOMPENSATOR FÜR POLARISATIONSMODENDISPERSION**



(57) Abstract

The invention relates to an emulator or compensator (EK) for the polarization mode dispersion of a light wave (L), comprising an input (EE), a continuous optical wave guide (LWL) which is a polarization-maintaining optical wave guide (PMF) having a differential group delay time (DGD), a polarization transformer (PT) and an output (AA). The polarization transformer (PT) is also embodied in a polarization-maintaining optical wave guide (PMF) and allows for infinite polarization transformations. The emulator or compensator (EK) can consist of several individual emulators or compensators (1, 2, ... N) which each have an input (E) and an output (A).

(57) Zusammenfassung

Ein Emulator oder Kompensator (EK) von Polarisationsmodendispersion einer Lichtwelle (L) besitzt einen Eingang (EE), einen durchgehenden Lichtwellenleiter (LWL), der ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter (PMF) mit einer differentiellen Gruppenlaufzeit (DGD) ist, einen Polarisationstransformator (PT) und einen Ausgang (AA). Der Polarisationstransformator (PT) ist ebenfalls in polarisationserhaltendem Lichtwellenleiter (PMF) ausgeführt und erlaubt endlose Polarisations Transformationen. Der Emulator oder Kompensator (EK) kann aus mehreren Einzelemulatoren oder -kompensatoren (1, 2, ... N) bestehen, welche jeweils einen Eingang (E) und einen Ausgang (A) besitzen.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Letland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PC1/DE 99/01046

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G02B6/34 H04B10/148

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G02B H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ULRICH R ET AL: "POLARIZATION OPTICS OF TWISTED SINGLE-MODE FIBERS" APPLIED OPTICS, vol. 18, no. 13, July 1979 (1979-07), pages 2241-2251, XP000669902 ISSN: 0003-6935 cited in the application page 2250; figure 9	1-5
A	PATSCHER J ET AL: "Component for second-order compensation of polarisation-mode dispersion" ELECTRONICS LETTERS, 19 JUNE 1997, IEE, UK, vol. 33, no. 13, pages 1157-1159, XP002116848 ISSN: 0013-5194 the whole document	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☐ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 September 1999

Date of mailing of the international search report

13/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lerbinger, K



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter: "onal Application No

PC1/DE 99/01046

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>TAKAHASHI T ET AL: "AUTOMATIC            COMPENSATION TECHNIQUE FOR TIMEWISE            FLUCTUATING POLARISATION MODE DISPERSION            IN IN-LINE AMPLIFIER SYSTEMS"            ELECTRONICS LETTERS,            vol. 30, no. 4,            17 February 1994 (1994-02-17), page            348/349 XP000439537            ISSN: 0013-5194            cited in the application            the whole document</p> <p>-----</p>	1-9

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC1/DE 99/01046

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G02B6/34 H04B10/148

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G02B H04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ULRICH R ET AL: "POLARIZATION OPTICS OF TWISTED SINGLE-MODE FIBERS" APPLIED OPTICS, Bd. 18, Nr. 13, Juli 1979 (1979-07), Seiten 2241-2251, XP000669902 ISSN: 0003-6935 in der Anmeldung erwähnt Seite 2250; Abbildung 9 ---	1-5
A	PATSCHER J ET AL: "Component for second-order compensation of polarisation-mode dispersion" ELECTRONICS LETTERS, 19 JUNE 1997, IEE, UK, Bd. 33, Nr. 13, Seiten 1157-1159, XP002116848 ISSN: 0013-5194 das ganze Dokument ---	1-9
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. September 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/10/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Lerbinger, K

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter. Internationales Aktenzeichen

PCI/DE 99/01046

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>TAKAHASHI T ET AL: "AUTOMATIC COMPENSATION TECHNIQUE FOR TIMEWISE FLUCTUATING POLARISATION MODE DISPERSION IN IN-LINE AMPLIFIER SYSTEMS" ELECTRONICS LETTERS, Bd. 30, Nr. 4, 17. Februar 1994 (1994-02-17), Seite 348/349 XP000439537 ISSN: 0013-5194 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1-9